Труды МАИ. 2025. № 144
Trudy MAI. 2025. No. 144. (In Russ.)

ИНФОРМАТИКА, МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ

Научная статья
УДК 004.052
URL: https://trudymai.ru/published.php?ID=186322
EDN: https://www.elibrary.ru/TJAWRO

АЛГОРИТМ ПОИСКА СОВПАДЕНИЙ В ПАРАЛЛЕЛЬНО ФОРМИРУЕМЫХ СПИСОЧНЫХ СТРУКТУРАХ ДЛЯ ЗАДАЧ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА СООБЩЕНИЙ ОГРАНИЧЕННОЙ ДЛИНЫ

Максим Олегович Таныгин[1], Михаил Владимирович Посканный[2]✉, Дмитрий Анатольевич Трокоз[3], Виталий Семёнович Титов[4]

[1,2,4]ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»

Курск, Российская Федерация.

[3]АО «Р7»

Нижний Новгород, Российская Федерация

[1]tanygin@yandex.ru

[2]✉mposkannyy@bk.ru

[3]dmitriy.trokoz@gmail.com

[4]tas_06@mail.ru

[1]ORCID ID: 0000-0002-4099-1414

[3]ORCID ID: 0000-0003-0989-3928

[4]ORCID ID: 0000-0002-0241-582X

Аннотация. Цель исследования состоит в разработке математической модели размещения данных в памяти приёмника, выполняющего определение источника поступающих пакетов данных на основе группового кодирования или кодирования в режиме сцепления блоков. Это позволяет спроектировать алгоритм поиска элементов данных в динамически формируемых структурах промежуточных результатов, обеспечивающий поиск требуемого элемента с учётом вероятности размещения в элементах памяти приёмника. Указанный поиск имеет своей целью повышение вероятности корректного определения источника и требуется при выполнении процедуры передачи на обработку каждого пакета данных, для которого выполнено определение его источника. После этого указатель на данный пакет данных должен быть удалён приёмником из всех структур промежуточных результатов, формируемых для других источников, как указатель на заведомо посторонний пакет данных.

Процесс поступления пакетов данных и записи их во внутреннюю память был представлен как совокупность двух независимых случайных марковских процессов поступления аутентичного пакета и поступления пакетов, сформированных посторонними источниками. На основе созданной модели получены численные значения вероятностей размещения аутентичных и посторонних пакетов в регистровой матрице промежуточных результатов. Это позволило сформулировать условия применимости разработанного алгоритма поиска элемента в зависимости от длины кода аутентификации и числа источников информации, формирующих данные для приёмника, а также служит основой для проектирования адаптивных алгоритмов поиска элементов в зависимости от интенсивности поступающий в приёмник пакетов от различных источников.

***Ключевые слова*:** динамическая структура, целевой источник, граф, приёмник

Для цитирования: Таныгин М.О., Посканный М.В., Трокоз Д.А., Титов В.С. Синтез путевого управления движением летательного аппарата на сфере // Труды МАИ. 2025. № 144. URL: https://trudymai.ru/published.php?ID=186322

COMPUTER SCIENCE, MODELING AND MANAGEMENT

Original article

AN ALGORITHM FOR SEARCHING FOR MATCHES IN PARALLEL GENERATED LIST STRUCTURES FOR TASKS OF DETERMINING THE SOURCE OF MESSAGES OF LIMITED LENGTH

Tanygin M.O.[1], Poskanny M.V.[2]✉, Trokoz D.A.[3], Titov V.S.[4]

[1,2,4]Southwest State University

Kursk, Russian Federation.

[3]JSC "R7"

Nizhny Novgorod, Russian Federation

[1]tanygin@yandex.ru

[2]✉mposkannyy@bk.ru

[3]dmitriy.trokoz@gmail.com

[4]tas_06@mail.ru

[1]ORCID ID: 0000-0002-4099-1414

[3]ORCID ID: 0000-0003-0989-3928

[4]ORCID ID: 0000-0002-0241-582X

Abstract. The objective of the study is to develop a mathematical model for placing data in the memory of a receiver that determines the source of incoming data packets based on group coding or coding in block chaining mode. This allows designing an algorithm for searching for data elements in dynamically generated structures of intermediate results that searches for the required element taking into account the probability of placement in the receiver's memory elements. The purpose of this search is to increase the probability of correctly determining the source and is required when performing the procedure for transferring each data packet for which its source has been determined. After this, the pointer to this data packet must be removed by the receiver from all structures of intermediate results generated for other sources, as a pointer to a deliberately extraneous data packet. The process of receiving data packets and writing them to the internal memory was presented as a set of two independent random Markov processes of receiving an authentic packet and receiving packets generated by extraneous sources. Based on the created model, numerical values of the probabilities of placing authentic and extraneous packets in the register matrix of intermediate results were obtained. This made it possible to formulate the conditions for the applicability of the developed element search algorithm depending on the length of the authentication code and the number of information sources generating data for the receiver, and also serves as the basis for designing adaptive element search algorithms depending on the intensity of packets arriving at the receiver from various sources.

Keywords: dynamic structure, target source, graph, receiver

For citation**:** Tanygin M.O., Poskanny M.V., Trokoz D.A., Titov V.S. An algorithm for searching for matches in parallel generated list structures for tasks of determining the source

of messages of limited length // Trudy MAI. 2025. No. 144. (In Russ.) URL: https://trudymai.ru/published.php?ID=186322

Введение

В ряде современных информационных систем возникает задача обеспечения безопасного и надёжного обмена данными, представленными в виде пакетов ограниченной (до нескольких десятков битов) длины. Это могут быть системы интернета вещей [1], сенсорные сети [2], бортовые сети самолетов (Avionics AFDX (Avionics Full-Duplex Switched Ethernet) используют фиксированный размер пакетов для гарантированной доставки данных в реальном времени, где ограничения длины пакетов требуется для эффективной упаковки данных от датчиков, систем управления и дисплеев, а также минимизации задержек и предотвращения фрагментации, критичной для безопасности [3]. К этому же классу систем относятся системы телеметрии и мониторинга. Так же в системах управления воздушным движением) ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System) передаются короткие текстовые сообщения между экипажем и диспетчерами. Для Беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) ограничения пропускной способности каналов связи требуют адаптации размера пакетов под условия сети для снижения задержек и потерь [4]. Протоколы авиационной связи ARINC 429, MIL-STD-1553 характеризуются фиксированным размером слов/пакетов (например, 32 бита в ARINC 429) [5-6]. Основные проблемы, которые вызываются указанными ограничениями в размере передаваемых и обрабатываемых сообщений это:

● фрагментация данных приводит к увеличению относительной доли служебных заголовков [7].

● приоритезация критичных данных (например, управляющих сигналов) вызывает задержки при передаче менее приоритетных данных [8].

● повторная передача потерянных пакетов или пакетов с проваленной процедурой аутентификации вступает в противоречие с требованиями обработки пакетов в режиме реального времени [9].

Все вышеперечисленные задачи требуют сочетания алгоритмической оптимизации, аппаратного ускорения и адаптации под конкретные условия эксплуатации. Одним из подходов, направленных на решение проблем безопасности, и позволяющим существенно сократить размер передаваемой аутентификационной информации, является использование групповой аутентификации [10]. Сам метод подразумевает создание аутентификационного тега (например, MAC – message authentbfication code или цифровая подпись) не для каждого отдельного пакета, а для группы пакетов [Прекумар, ШАнт, Сталлингс]. Но при этом одним из недостатков такого решения является необходимость буферизации пакетов для формирования проверяемой группы пакетов (сообщений) в приёмнике. В известных решениях [11] используется подход, определяемый разными скоростями обращения к оперативной и внутренней регистровой памяти приёмника: полезная нагрузка сообщения хранится в буферном ОЗУ, описатели, аутентификационная составляющая, указатели на элементы динамической структуры, хранящей промежуточные вычисления, записываются в регистры. При организации аутентификации от множества источников возникает проблема параллельного формирования групп пакетов для

каждого из источников. При этом до проверки пакетов одной группы все пакеты, в том числе и относящиеся к пакетам других групп и других источников могут рассматриваться как потенциально аутентичные пакеты рассматриваемого источника. Рассмотренная выше схема хранения позволяет в таком случае хранить полезную нагрузку пакетов один раз, а в регистровой памяти хранить несколько динамических структур промежуточных результатов для каждого источника информации.

Проведённые ранее исследования показали, что использование параллельного формирования динамических структур позволяет в общем случае повысить достоверность аутентификации за счёт снижения вероятности попадания пакета от одного источника в группу пакетов другого [12]. При этом подразумевается, когда для группы пакетов источника А проведена аутентификация, все указатели на эти пакеты из других динамических структур должны быть удалены, так как для других источников эти пакеты являются посторонними.

Таким образом формируется следующая задача. Имеем множество графов G_1, G_2, G_3,… G_N, где N – число источников, формирующих сообщения для приёмника. Каждый граф состоит из множества дуг и вершин $G_i = \{V_i\ E_i\}$. В общем случае допускается попарное пересечение множеств V_i и V_j, $V_i \cap V_j \neq 0$. Проведение аутентификации i-го источника для некоторой группы пакетов есть выделение в рассматриваемом множестве V_i подмножества $V_i^{aut} \in V_i$, соответствующего аутентичным сообщениям, и удаление его, так как данные сообщения не участвуют в последующем формировании графов и переданы на обработку. В случае, если

некоторый элемент $e \in V_i^{\text{aut}} \cap V_j$, $i \neq j$, то он удаляется из графа V_j. С практической точки зрения это подразумевает поиск каждого элемента подмножества V_i^{aut} в каждом из N – графов. В общем случае сложность такой процедуры определяется числом графов и количеством вершин в них. Любая оптимизация решения данной задачи требует учёта структуры графов.

Предыдущие исследования

Проанализируем тип графа, которым является собой рассматриваемая динамическая списочная структура, хранящая результаты предварительной обработки поступающих пакетов и проверки их принадлежности определённому источнику. Каждый такой граф является деревом, корнем которого является последний поступивший в приёмник пакет данных, для которого установлено, что он сформирован целевым источником. [13]. Для повышения скорости аппаратной обработки мы рассматриваем модель хранения указателей на сообщения в буферном ОЗУ, представляющую собой комбинацию списочной структуры и матричной памяти [14]. В таком варианте вершины графа – хранящиеся в регистровой памяти адреса пакетов в ОЗУ, дуги графа – указатели (номера строк) на регистры памяти, расположенные в следующем столбце относительно текущего регистра. На рисунке 1 число столбцов матрицы регистров равно максимальному размеру группы пакетов *M,* а число строк N определяется условиями функционирования устройства (интенсивностью формирования пакетов источником, вероятностью возникновения ошибки и т.д.).

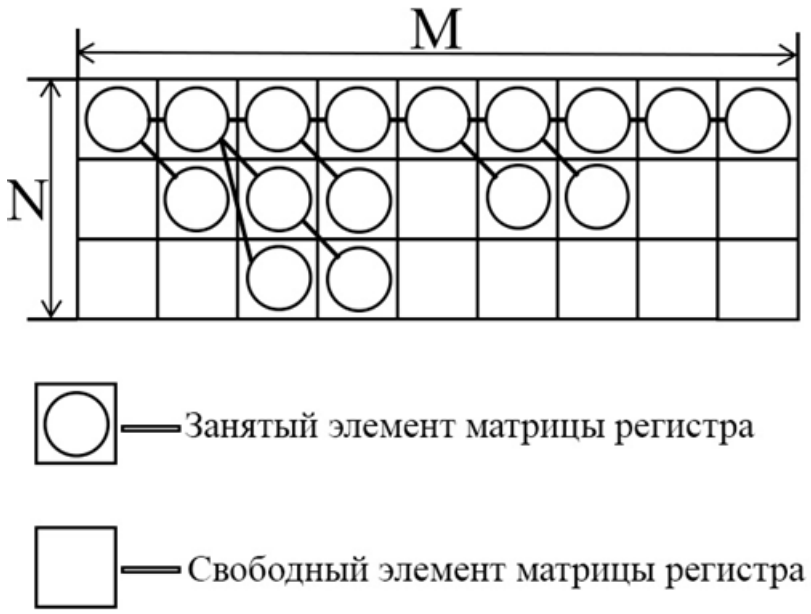

Рисунок 1 - Размещение графа указателей на сообщения в буферном ОЗУ в регистровой матрице

При таком формате хранения графа имеется возможность напрямую обратиться ко всем элементам, находящимся на определённом расстоянии от корня (в столбце матрице регистров), без необходимости переходить по указателям. Кроме того, исследования показали [15], что в графе имеется главная последовательность максимальной длины *M* (ствол дерева-графа), образованная указателями на пакеты того источника, с которым данный граф ассоциирован. От указанной последовательности отходят короткие ветви (1-2 элемента), образованные посторонними для данного источника пакетами. Так как при обработке пакетов данных мы установили их источник, то для всех остальных эти пакеты являются посторонними и удаляемый элемент графа находится именно в этих ветвях. Так как число сообщений в «ветвях» дерева меньше, то ограничение на поиск именно в ветвях

позволит значительно уменьшить вычислительную сложность процедуры удаления посторонних сообщений в рассматриваемых динамических структурах.

В то же время, сформулированное правило требует определения для каждого элемента (рис 1), принадлежит он стволу – некоторой последовательности максимальной длины, или нет. Простейшая реализация проверки такого правила – выбор элемента из столбца и проверка наличия у него указателя на следующий элемент, требует дополнительной элементарной операции – определения числа указателей на элемент следующего столбца. При этом перебирать придётся все элементы отдельно взятого столбца, что не позволяет снизить число операций проверки элементов графа

Материалы и методы

Алгоритм заполнения матрицы, хранящей древовидную структуру, основан на добавлении элемента с порядковым номером *i* (расстоянием от корня дерева) в столбец номер *i* в первую свободную строку. Гипотезой настоящего исследования является предположение о том, что из-за различия вероятности добавления в динамическую структуру пакетов целевого источника и посторонних, пакеты целевого источника («ствол дерева») будут размещены с большей вероятностью в первой строке матрицы регистров (рис. 1), а посторонние пакеты – в строках с номерами 2, 3, …. Тогда поиск требуемого элемента в графе можно производить по строкам, начиная с максимальной и заканчивая первой. Кроме того, поиск в первой строке следует вести только в тех столбцах, где более одного элемента, так как мы не рассматриваем пропуск пакета в группе.

Для формального описания алгоритма поиска нужного элемента в матрице представим каждый принимаемый пакет информации в виде $A_{i,j}$, где $i=1...N$, а $j=1...M$. Элементы сообщений формируют множество, которое стоит из двух подмножеств $A_{i,j}=\{A_{i,j}^{address};E_{i,j}\}$. Первое из них содержит элементы пакетов, сохранённых в память, указатели которых, записаны в переменных $A^{address}$. Второе представляет собой адреса следующих элементов, присутствующих в матрице на рис. 1 - с, которые являются ветвями из величин переменной $A_{i,j}$. Как было определено ранее, начинать перебор целесообразно с последней строки, при том перебирая элементы с первого столбца пропуская те, в которых находится не более пакета.

Введём переменные *l* и *k*, которые будут представлять из себя два массива индексов. Обозначим диапазон значений: $l=N...2$, $k=1...M$. Каждый проверяемый элемент будет иметь индекс. В рассматриваемой нами динамической структуре могут существовать пакеты, которые были переданы на обработку. Получив значения адресов пакетов, переданных на обработку по результатам обработки другого дерева, проводим поиск этих адресов в целевой динамической структуре. Если значение исследуемого объекта сопоставимо с значением машинного нуля – переходим к следующему пакету. В случаях, когда адрес переданного на обработку пакета и адрес, хранящийся в $A_{i,j}^{address}$ совпадают необходимо удалить элемент из структуры. Вводной переменной для начала процесса сравнения будет значение Address. Оно представляет из себя адрес пакета, переданного на обработку по результату другой

динамической структуры. Исходя из информации выше составим алгоритм поиска адресов сообщений (рис 2).

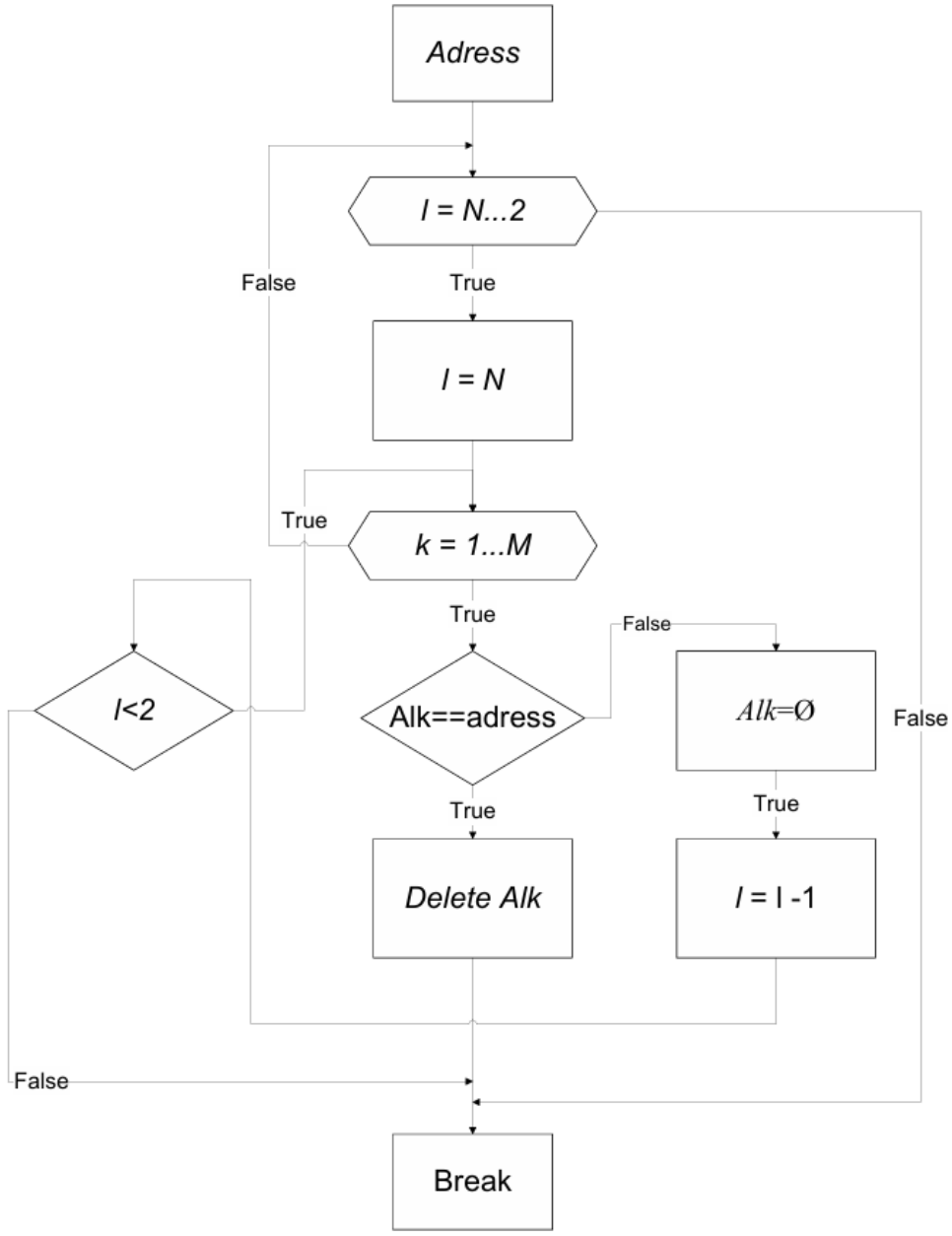

Рис. 2 Блок-схема алгоритма поиска адреса сообщения в регистровой матрице, хранящей древовидную структуру промежуточных результатов

Модель поступления пакетов данных от множества источников, которые участвуют в формировании одного рассматриваемого графа основана на аппарате цепей Маркова с непрерывным временем. В качестве параметров модели будем

использовать: интенсивность λ формирования пакетов данных целевым источником, $K \cdot \lambda$ – интенсивность формирования пакетов данных всеми источниками (за K принимаем число источников данных в системе, считая среднюю интенсивность формирования пакетов одинаковой), размер поля идентификатора H, определяющий вероятность добавления постороннего пакета в граф, ассоциированный с целевым источником [16].

Представим процесс поступления пакетов от целевого источника и от посторонних источников как два марковских процесса с непрерывным временем. Такое представление адекватно, так как предполагаем, что в распределённой системе абоненты формируют пакеты данных независимо друг от друга и поток пакетов является простейшим пуассоновским потоком [17]. Рассмотрим момент времени, когда в первую строку i-го столбца был записан описатель i-го пакета источника. Очевидно, что в таком случае столбцы с номерами, превышающими i, будут пустыми. Поступление i+1 го пакета целевого источника моделируется цепью Маркова с двумя состояниями находящейся в верхней части рисунка 3: I – пакет i+1 не поступил, II – пакет i+1 поступил. Интенсивность перехода между состояниями равна λ , вероятности нахождения системы в соответствующих состояниях: P_I^{A}, P_{II}^{A}.

Запись описателей посторонних пакетов представлена цепью Маркова снизу на рисунке 3. Состояния: «0» – посторонний пакет не поступил, «1» – поступил один посторонний пакет, «2» – поступило два посторонних пакета и т. д. Вероятности нахождения системы в данных состояниях: P_0^{B}, P_1^{B}, P_2^{B}… соответственно. Интенсивность перехода между состояниями определяется интенсивностью

формирования пакетов данных всеми источниками $K \cdot \lambda$ и вероятностью 2^{-H} добавления постороннего пакета в рассматриваемую древовидную структуру $\lambda_1 = K \cdot \lambda \cdot 2^{-H}$. Тогда уравнения Колмогорова для данных функций будут иметь вид

$$\begin{aligned}
&\frac{dP_I^{\mathrm{A}}(t)}{dt} = -\lambda P_I^{\mathrm{A}}(t), \\
&\frac{dP_{II}^{\mathrm{A}}(t)}{dt} = \lambda P_{II}^{\mathrm{A}}(t), \\
&\frac{dP_0^{\mathrm{B}}(t)}{dt} = \left(-\lambda K 2^{-H}\right) P_0^{\mathrm{B}}(t), \\
&\frac{dP_i^{\mathrm{B}}(t)}{dt} = \left(\lambda K 2^{-H}\right) P_{i-1}^{\mathrm{B}}(t) + \left(-\lambda K 2^{-H}\right) P_i^{\mathrm{B}}(t), i = 1 \ldots N
\end{aligned} \tag{1}$$

Создадим схему для наглядной иллюстрации принципа построения, ранее упомянутых цепей Маркова (рис 3).

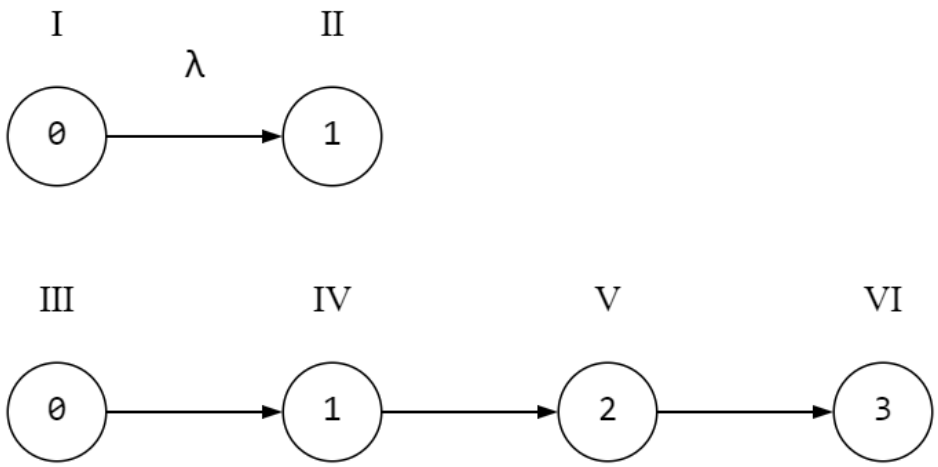

Рисунок 3 – Цепи Маркова, моделирующие процессы заполнения регистровой матрицы аутентичными и посторонними сообщениями

Плотность вероятности записи описателя аутентичного пакета в строку j+1 определится через плотность вероятности поступления аутентичного пакета $\frac{dP_{II}^{A}(t)}{dt}$ и вероятность поступления j посторонних пакетов – вероятность $P_j^{B}(\tau)$:

$$\frac{dP_{j+1}(t)}{dt} = P_j^{B}(t)\frac{dP_{II}^{A}(t)}{dt} \quad (3)$$

Сама функция вероятности наступления такого события при выразится как интеграл от (3) в диапазоне времени от 0 до ∞:

$$P_{j+1} = \int_0^{\infty} dP_{II}^{A}(t) P_j^{B}(t) \quad (4)$$

Результаты и обсуждение

Для различных значений размер поля идентификатора H и числа источников данных в системе K получены решения уравнений (1), на основании которых рассчитаны вероятности P_i , $i = 1, 2, 3, \ldots$ как функции указанных параметров. График зависимости записи аутентичного пакета в первую строку матрицы регистров при различных значениях параметров H и K представлены на рисунке 4.

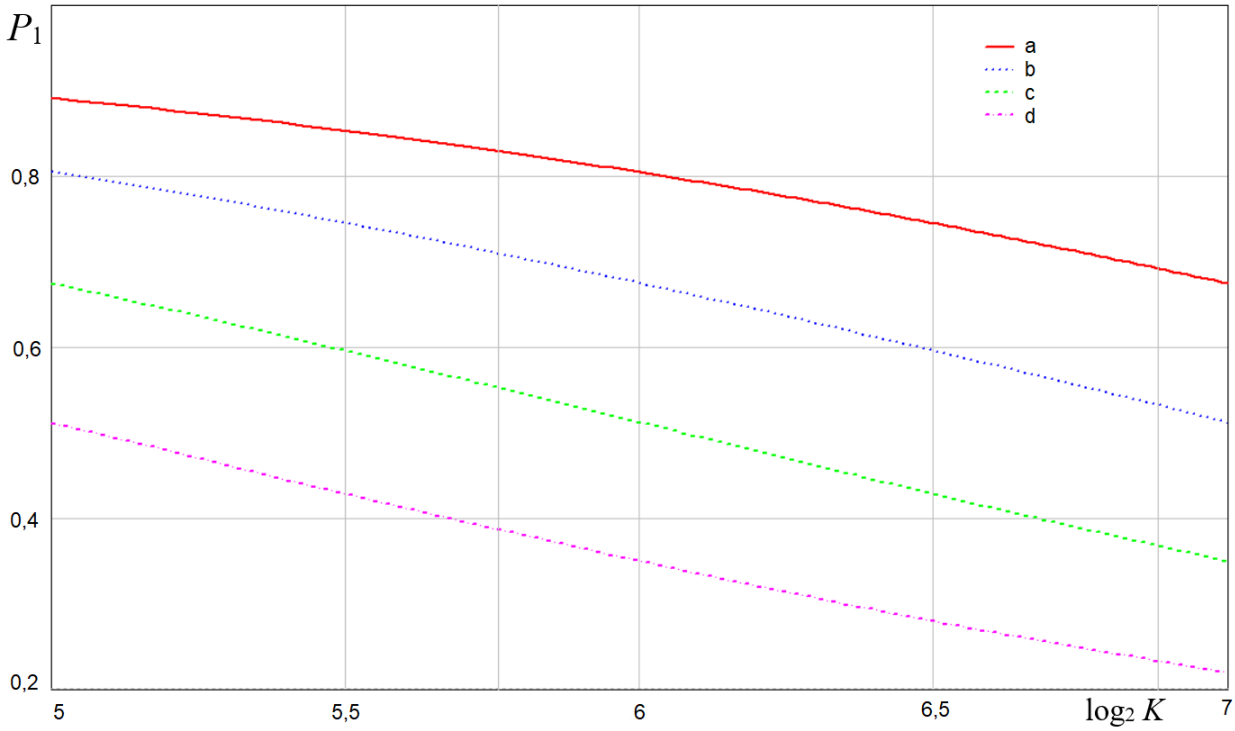

Рисунок 4 - График зависимости вероятности P_1 записи аутентичного сообщения в первую строку регистровой матрицы от двоичного логарифма количества источников пакетов данных $\mathbf{log}_2\ K$ при различной длине поля кода аутентификации

a) H=8, b) H=7, c) H=6, d) H=4

Видно, что с ростом числа источников, вероятность попадания аутентичного пакета в первую строку матрицы регистров падает. При этом установленная зависимость позволяет очертить диапазон параметра K, при котором использование рассматриваемого алгоритма целесообразно. Видно, что при $H>\mathbf{log}_2\ K$ вероятность попадания в первую строку аутентичного пакета превышает 0,5, а при $H>\mathbf{log}_2\ K+1$ она превышает 0,8. С учётом полученных ранее данных по достоверности аутентификации группы пакетов [18] видно, что предлагаемая нами последовательность обхода узлов дерева является предпочтительной, так как искомые элементы лежат с большей вероятностью в строках с большими номерами.

Рассмотренная модель позволяет оценить вероятность нахождения аутентичного пакета [19] при различном общем числе занятых в рассматриваемом столбце элементов. На рисунке 5 приведены графики зависимости вероятностей записи аутентичного пакета в соответственно, первую, вторую и третью строки регистровой матрицы в случае, если общее число занятых элементов столбца равно трём.

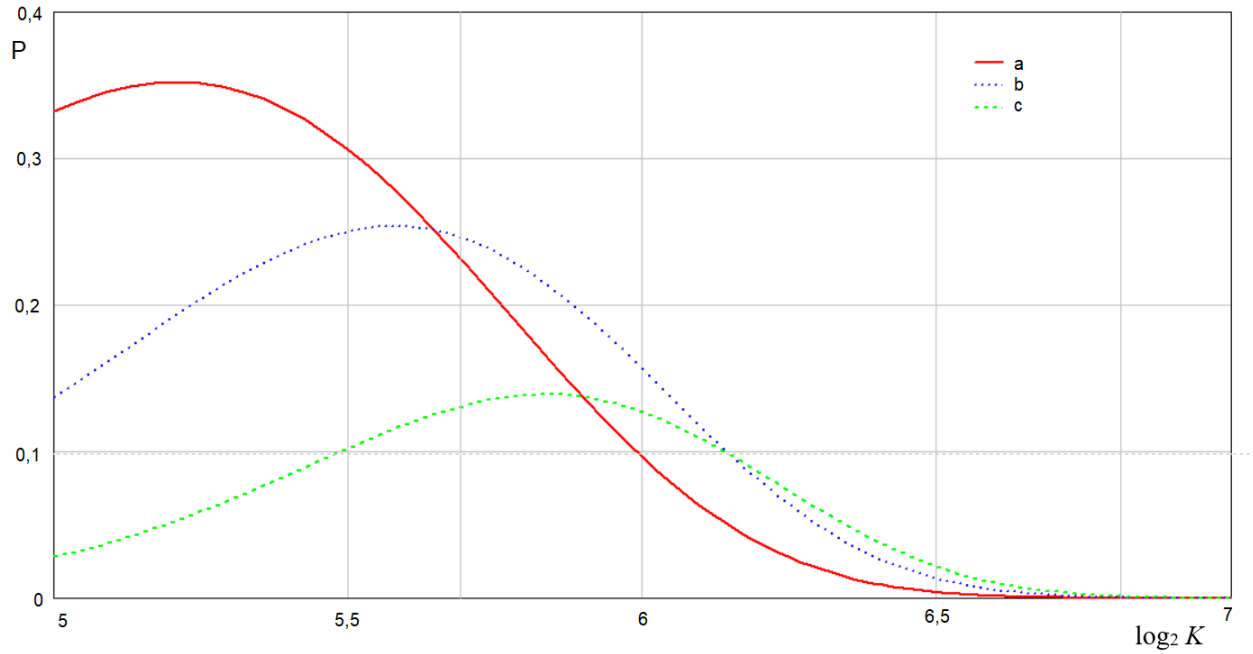

Рисунок 5 - График зависимости вероятности записи аутентичного сообщения во первую (a), вторую (b) и третью (c) строку регистровой матрицы двоичного логарифма количества источников пакетов данных $\log_2 K$

На рисунке видно, что для каждого соотношения между числом взаимодействующих абонентов и размером поля аутентификации можно подобрать наиболее целесообразную последовательность просмотра элементов в столбце для определения среди них искомого (являющегося посторонним для рассматриваемого

источника). Но, в то же время, если параметры обмена сообщениями будут таковыми, что аутентичное сообщение с большей вероятностью будет записано не в первом элементе столбца, вероятность достоверности аутентификации, будет превышать значения, при которых канал связи можно считать надёжным (вероятность ошибки будет больше значений 0.2 – 0.3)**.**

Заключение

В настоящей статье исследовалась проблема поиска элементов в древовидных структурах, формируемых в приёмниках при выполнении процедуры аутентификации последовательности пакетов, кодированных в режиме сцепления блоков. Подобная проблема является одним из ограничений применимости указанного метода кодирования, так как при выполнении аутентификации от множества источников каждое поступившее сообщение должно быть проверено на факт его формирования всеми источниками, с которыми взаимодействует приёмник. При этом пакеты данных, сформированные одним источником могут быть обработаны как потенциальные пакеты другого источника и добавлены в структуру, хранящую соответствующие промежуточные результаты. Подобные факты включения сообщений других источников, во-первых, повышают требования к объёму памяти, требуемой для хранения промежуточных результатов, во- вторых- их обработка требует дополнительных вычислительных затрат, и, в-третьих, увеличивается вероятность ошибки определения источника сообщений.

Удаление же из структуры, хранящей промежуточные результаты, требует реализации специализированного алгоритма поиска элемента в графе. Для повышения скорости поиска элемента требуется учёт особенностей формирования

структуры, хранящей промежуточные результаты, а также особенности её хранения в памяти приёмника. Разработанная математическая модель размещения промежуточных результатов в памяти приемника позволила спроектировать алгоритм поиска и удаления элемента, обеспечивающий поиск элемента с учётом вероятности его нахождения в памяти приёмника. Его реализация, как показали проведённые ранее исследования [20] позволяет снизить вероятность ошибки при определении источника пакетов данных, кодированных в режиме сцепления блоков, с диапазона 0.15 – 0.20 до диапазона 0.05 – 0.10. Дальнейшие исследования, основанные на полученных в настоящей работе результатах, направлены на проектирование адаптивного алгоритма поиска элементов, учитывающего текущие мгновенные интенсивности формирования пакетов данных различными источниками.

Список источников

1. Liberg Olof, Sundberg Marten, Wang Eric et al. Cellular Internet of Things: Technologies, Standards, and Performance. Academic Press, 2017

2. Shi, X. A reversible watermarking authentication scheme for wireless sensor networks / X. Shi, D. Xiao // Information Sciences. – 2013 – Vol. 240 – P. 173-183. – DOI:10.1016/j.ins.2013.03.031

3. Летфуллин И.Р. Стандарты и технологии беспроводных сетей связи ближнего радиуса действия // Труды МАИ. 2022. № 124 Trudy MAI, 2022, no. 124, https://cyberleninka.ru/article/n/standarty-i-tehnologii-besprovodnyh-setey-svyazi-blizhnego-radiusa-deystviya, DOI: 10.34759/ЫI-2022-124-14

4. Веревкин С.А. Трофимова Н.А. Подход к разработке модели для тестирования сетевых характеристик телекоммуникационной инфраструктуры организации // Известия ТузГу, технические науки 2024, Вып 9, https://cyberleninka.ru/article/n/podhod-k-razrabotke-modeli-dlya-testirovaniya-setevyh-harakteristik-telekommunikatsionnoy-infrastruktury-organizatsii, DOI: 10.24412/2071-6168-2024-9-340-341

5. Leading the world in avionics interface solutions // Arinc 429 protocol tutorial) 2004, https://web.archive.org/web/20101214063528/http:/www.acalmicrosystems.co.uk/whitepapers/sbs7.pdf

6. Digital Time Division Command/Response Multiplex Data Bus, MCCR 1996, https://web.archive.org/web/20090206112915/http:/assist.daps.dla.mil/quicksearch/basic_profile.cfm?ident_number=36973

7. В.В. Починок, Р.С. Шерстобитов, А.П. Теленьга, Т.В. Лебедкина, В.В. Модель процесса мониторинга корректности фрагментации пакетов в ведомственной сети передачи данных // Кучуров Краснодарское высшее военное училище им. генерала армии С.М. Штеменко, Инженерный вестник Дона №5 2020, https://cyberleninka.ru/article/n/model-protsessa-monitoringa-korrektnosti-fragmentatsii-paketov-v-vedomstvennoy-seti-peredachi-dannyh

8. Васильев В.А. Федюнин П.А. Данилин М.А. Васильев А.В. Проблемные вопросы организации информационного обеспечения управления ударными авиационными комплексами // Труды МАИ. Выпуск № 105, 2019, УДК 623.465.5

9. А. В. Борисов1 , С. И. Гуров2 , К. В. Семенихин3 , Р. Л. Смелянский4 , Е. П. Степанов5 К вопросу восстановления пакетов на транспортном уровне // ВЕСТН.

МОСК. УН-ТА. СЕР. 15. ВЫЧИСЛ. МАТЕМ. И КИБЕРН. 2025. № 1. С. 18-30 Lomonosov Computational Mathematics and Cybernetics Journal, УДК 004.057.4

10. Mukesh Soni , Dileep Kumar Singh Blockchain-based group authentication scheme for 6G communication network // Physical Communication Volume 57, April 2023, 102005, https://doi.org/10.1016/j.phycom.2023.102005

11. М.О. Таныгин, А.А. Чеснокова, А.А.А. Ахмад, Повышение скорости определения источника сообщений за счет ограничения множества обрабатываемых блоков данных // Труды МАИ, 2022, №125, https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-skorosti-opredeleniya-istochnika-soobscheniy-za-schet-ogranicheniya-mnozhestva-obrabatyvaemyh-blokov-dannyh DOI: 10.34759/trd-2022-125-20

12. Lei-lei Shi, Lu Liu, Yan Wu, Liang Jiang & Ayodeji Ayorinde, Event Detection and Multi-source Propagation for Online Social Network Management // Journal of Network and Systems Management Volume 28, pages 1–20, (2020), https://link.springer.com/article/10.1007/s10922-019-09493-0

13. Muhammad Tanveer; Ahmed Alkhayyat; Abd Ullah Khan; Neeraj Kumar; Abdullah G. Alharbi, REAP-IIoT: Resource-Efficient Authentication Protocol for the Industrial Internet of Things // Published in: IEEE Internet of Things Journal (Volume: 9, Issue: 23, 01 December 2022), Page(s): 24453 – 24465, DOI: 10.1109/JIOT.2022.3188711

14. П.Н. Романов Анализ методов декодирования по спискам в современных системах обмена информацией // Вестник НГИЭИ 2017, УДК 621.391.037.3, https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-dekodirovaniya-po-spiskam-v-sovremennyh-sistemah-obmena-informatsiey

15. М.О. Таныгин А.А.А. Ахмад А.А. Чеснокова Снижение ресурсных затрат на обработку кодов аутентификации сообщений за счет ограничения числа обрабатываемых сообщений // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии, № 4 (60), 2022 г, УДК 004.052

16. Julio Cesar Sampaio do Prado Leite1 Edson Andrade de Moraes1 Carlos Eduardo Portela Serra de Castro A Strategy for Information Source Identification // PUC-RIO – Pontifícia Universidade Católida do Rio de Janeiro, https://www.inf.puc-rio.br/wer/WERpapers/artigos/artigos_WER07/Ewer07-leite02.pdf

17. Г.Ш. Цициашвили, М.А. Осипова Исследование процесса сборки пуассоновских потоков // Вестник томского государственного университета 2019 Управление, вычислительная техника и информатика № 48, УДК 519.218.72, Б01: 10.17223/19988605/48/6

18. А.В. Плугатарев Модель определения источника сообщений на основе статистического анализа метаданных в открытом канале связи // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии 2022, DOI 10.54398/20741707_2022_4_30 УДК 004.056.53 https://cyberleninka.ru/article/n/model-opredeleniya-istochnika-soobscheniy-na-osnove-statisticheskogo-analiza-metadannyh-v-otkrytom-kanale-svyazi

19. Nguyen H., Tran N., Nguyen T. "Traffic Modeling in Software-Defined Networks 2020 // A Poisson-Based Approach" IEEE Communications Letters, 23(4), DOI:10.1109/ICACCE49060.2020.9154982,

20. М.О. Таныгин, Модель обработки сообщений от нескольких источников, кодированных в режиме сцепления блоков / М. О. Таныгин, М. В. Посканный // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление,

вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2025. – Т. 15, № 1. – С. 144-156. – DOI 10.21869/2223-1536-2025-15-1-144-156.

Reference

1. Liberg Olof, Sundberg Marten, Wang Eric et al. Cellular Internet of Things: Technologies, Standards, and Performance. Academic Press, 2017

2. Shi, X. A reversible watermarking authentication scheme for wireless sensor networks / X. Shi, D. Xiao // Information Sciences. – 2013 – Vol. 240 – P. 173-183. – DOI:10.1016/j.ins.2013.03.031

3. Letfullin I.R. Standards and technologies of short-range wireless communication networks // Proceedings of MAY 2022. No. 124 Trudy MAI, 2022, No. 124, https://cyberleninka.ru/article/n/standarty-i-tehnologii-besprovodnyh-setey-svyazi-blizhnego-radiusa-deystviya , DOI: 10.34759/S-2022-124-14

4. Verevkin S.A. Trofimova N.A. An approach to developing a model for testing network characteristics of an organization's telecommunications infrastructure // Izvestiya TuzGu, Technical Sciences 2024, Issue 9, https://cyberleninka.ru/article/n/podhod-k-razrabotke-modeli-dlya-testirovaniya-setevyh-harakteristik-telekommunikatsionnoy-infrastruktury-organizatsii , DOI: 10.24412/2071-6168-2024-9-340-3415. Leading the world in avionics interface solutions // Arinc 429 protocol tutorial) 2004, https://web.archive.org/web/20101214063528/http:/www.acalmicrosystems.co.uk/whitepapers/sbs7.pdf

6. Digital Time Division Command/Response Multiplex Data Bus, MCCR 1996, https://web.archive.org/web/20090206112915/http:/assist.daps.dla.mil/quicksearch/basic_profile.cfm?ident_number=36973

7. V.V. Pochinok, R.S. Sherstobitov, A.P. Telenga, T.V. Lebedkina, V.V. A model of the process of monitoring the correctness of packet fragmentation in a departmental data transmission network // Kuchurov Krasndar Higher Military School named after Army General S.M. Shtemenko, Engineering Bulletin of the Don No. 5 2020, https://cyberleninka.ru/article/n/model-protsessa-monitoringa-korrektnosti-fragmentatsii-paketov-v-vedomstvennoy-seti-peredachi-dannyh

8. Vasiliev V.A. Fedyunin P.A. Danilin M.A. Vasiliev A.V. Problematic issues of the organization of information support for the management of strike aviation complexes // Proceedings of MAI. Issue No. 105, 2019, UDC 623.465.5

9. A.V. Borisov1, S. I. Gurov2, K. V. Semenikhin3, R. L. Smelyansky 4, E. P. Stepanov5 On the issue of packet recovery at the transport level // VESTN. Moscow TIME. UN-TA. SER. 15. COMPUTING MATH. And CYBER. 2025. No. 1. pp. 18-30 Lomonosov Computational Mathematics and Cybernetics Journal, UDC 004.057.4

10. Mukesh Soni , Dileep Kumar Singh Blockchain-based group authentication scheme for 6G communication network // Physical Communication Volume 57, April 2023, 102005, https://doi.org/10.1016/j.phycom.2023.102005

11. M.O. Tanygin, A.A. Chesnokova, A.A.A. Akhmad, Increasing the speed of determining the source of messages by limiting the set of processed data blocks // Proceedings of MAI, 2022, No. 125, https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-skorosti-opredeleniya-istochnika-soobscheniy-za-schet-ogranicheniya-mnozhestva-obrabatyvaemyh-blokov-dannyh DOI: 10.34759/trd-2022-125-20

12. Lei-lei Shi, Lu Liu, Yan Wu, Liang Jiang & Ayodeji Ayorinde, Event Detection and Multi-source Propagation for Online Social Network Management // Journal of Network

and Systems Management Volume 28, pages 1–20, (2020), https://link.springer.com/article/10.1007/s10922-019-09493-0

13. Muhammad Tanveer; Ahmed Alkhayyat; Abd Ullah Khan; Neeraj Kumar; Abdullah G. Alharbi, REAP-IIoT: Resource-Efficient Authentication Protocol for the Industrial Internet of Things // Published in: IEEE Internet of Things Journal (Volume: 9, Issue: 23, 01 December 2022), Page(s): 24453 – 24465, DOI: 10.1109/JIOT.2022.3188711

14. P.N. Romanov Analysis of list-based decoding methods in modern information exchange systems // Bulletin of NGIEI 2017, UDC 621.391.037.3, https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-dekodirovaniya-po-spiskam-v-sovremennyh-sistemah-obmena-informatsiey

15. M.O. Tanygin A.A.A. Akhmad A.A. Chesnokova Reduction of resource costs for processing message authentication codes by limiting the number of messages processed // Caspian Journal: Management and High Technologies, No. 4 (60), 2022, UDC 004.052

16. Julio Cesar Sampaio do Prado Leite1 Edson Andrade de Moraes1 Carlos Eduardo Portela Serra de Castro A Strategy for Information Source Identification // PUC-RIO – Pontifícia Universidade Católida do Rio de Janeiro, https://www.inf.puc-rio.br/wer/WERpapers/artigos/artigos_WER07/Ewer07-leite02.pdf

17. G.Sh. Tsitsiashvili, M.A. Osipova Investigation of the assembly process of Poisson flows // Bulletin of Tomsk State University 2019 Management, Computer Engineering and Informatics No. 48, UDC 519.218.72, B01: 10.17223/19988605/48/6

18. A.V. Plugatarev A model for determining the source of messages based on statistical analysis of metadata in an open communication channel // Caspian Journal: Management and High Technologies 2022, DOI 10.54398/20741707_2022_4_30 UDC 004.056.53

https://cyberleninka.ru/article/n/model-opredeleniya-istochnika-soobscheniy-na-osnove-statisticheskogo-analiza-metadannyh-v-otkrytom-kanale-svyazi

19. Nguyen H., Tran N., Nguyen T. "Traffic Modeling in Software-Defined Networks 2020 // A Poisson-Based Approach" IEEE Communications Letters, 23(4), DOI:10.1109/ICACCE49060.2020.9154982,

20. M.O. Tanygin, A model for processing messages from multiple sources encoded in the block coupling mode / M. O. Tanygin, M. V. Poskanny // Proceedings of the Southwestern State University. Series: Management, computer engineering, computer science. Medical instrumentation. – 2025. – Vol. 15, No. 1. – pp. 144-156. – DOI 10.21869/2223-1536-2025-15-1-144-156.